

地震時の橋台裏盛土の揺り込み沈下に着目した遠心模型実験

東海旅客鉄道(株) 正会員 庄司朋宏

1. はじめに

地震時において、盛土と橋台の構造物境界（以下、「橋台裏盛土」という。）は、盛土と橋台の沈下差によって、軌道面に段差や折れ角といった著しい変状が発生する。このうち、盛土本体の沈下量である揺り込み沈下については、福島ら¹⁾が過去の地震被災事例の統計分析から推定する経験式を提案している。しかしながら、様々な沈下原因が重複している実際の地震被害から揺り込み沈下量だけを選定することは困難である。

本研究は、縮尺模型による動的遠心模型実験により、具体的な地震動で加振した場合の橋台裏の揺り込み沈下を再現した。また、橋台裏にセメント改良体を設置することによる変形抑制効果について検証した。

2. 実験方法

実験は 50[Gal]の遠心重力場で実施した。実験模型を図-1 に示す。模型は（長さ）2000[mm] × （高さ）600[mm] × （奥行き）800[mm]の鋼鉄製剛土槽内に実物の 1/50 スケールで作製した。模型寸法を実物換算すると盛土高 9[m]、盛土天端幅 10.8[m]、地盤層厚 6[m]となる。

地盤は普通地盤で構成し、茨城産山砂を相対密度 $Dr=106\%$ となるように締め固めて製作した。このときの土質定数は、 $\phi=36.4^\circ$ 、 $C=11.3\text{kN/m}^2$ で鉄道設計標準²⁾における土質に相当する。盛土は（珪砂 7 号）：（トチクレイ）=95:5 の混合砂とし、 $Dr=90\%$ となるように締め固めて製作した。このときの土質定数は、 $\phi=33.4^\circ$ 、 $C=0\text{kN/m}^2$ で鉄道設計標準における土質に相当する。2 橋台のうち、一方には盛土本体の変形抑制を目的としたセメント改良体を設置した。セメント改良体は、変形が大きいと想定されるのり肩部を補強することとし、改良体の水セメント比は 27%、一軸圧縮強度 $qu=1.0[\text{N/mm}^2]$ である。橋台及び翼壁はアルミ製とし、盛土との接触面には付着力を考慮し、接着剤で砂を塗布した。桁及び桁受けは鋼製とし、線路方向への移動を拘束するが、線路直角方向の移動に対応できるようなヒンジ構造とした。盛土上面には軌道荷重相当として、実物換算 14.7kN/m^2 の鉛散弾を設置した。計測は加速度、変位とし、地盤面と盛土表

面に形状を把握するためのターゲットを設置した。入力地震波は、鉄道構造物等設計標準³⁾L2 地震動スペクトル 適合波（G1 地盤）、最大 749[Gal]を使用した。

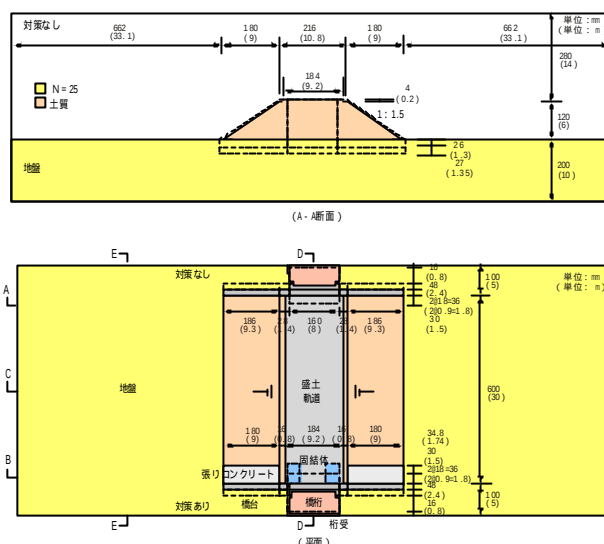


図-1 実験模型（平面図及び断面図）

図中の（ ）内は実物寸法

表-1 使用材料諸元

地盤（茨城産山砂）		盛土（珪砂+トチクレイ）	
土粒子密度[kN/m ³]	2.63	土粒子密度[kN/m ³]	2.65
最大粒径[mm]	9.5	最大粒径[mm]	0.43
平均粒径[mm]	0.84	平均粒径[mm]	0.13
細粒分含有率[%]	0	細粒分含有率[%]	11.9

表-2 使用材料諸元

地盤（茨城産山砂）		盛土（珪砂+トチクレイ）	
厚さ[m]（実物換算）	6	高さ[m]（実物換算）	9
乾燥密度[kN/m ³]	1.660	乾燥密度[kN/m ³]	1.367
相対密度[%]	106	相対密度[%]	90
最適含水比[%]	11.9	最適含水比[%]	16

3. 実験結果

(1)加振直前の模型の状況

模型に所定の遠心重力 50[Gal]を作用させたところ、橋台部の盛土直下路盤（DVA-4）と一般部の盛土直下路盤（DVC-4）で 0.5[mm]、セメント改良体のある橋台部の盛土直下路盤で 1.0[mm]の沈下が生じた。盛土天端では一般部（DVC-1,2,3）、橋台部（DVA-1,2,3）、

セメント改良体のある橋台部 (DVB-1,2,3) とともに、ほぼ 2.0[mm] であった。結果から、遠心载荷による地盤沈下はほとんどなく、盛土本体は一般的な沈下である。

(2) 加振結果

ここから実物換算値により実験結果を示す。図-2 に入力加速度波形、図-3 に盛土直下の地盤の加速度応答波形を示す。これより、入力波の最大値 428.9[Gal] に対して、盛土直下の地盤応答加速度の最大値は 584[Gal] と 1.4 倍程度増幅した結果となった。図-4 は盛土天端ののり肩部の残留沈下量、図-5 は盛土直下の地盤上の残留沈下量である。図-4 の天端の沈下量応答波形から、加振開始の 4[sec] と、12[sec] の時に沈下が進行した結果となっている。これは、図-3 の盛土直下の地盤の応答加速度と比べると、応答加速度の振幅が大きいときに、沈下が大きく対応していることがわかる。残留沈下量は、一般部 (DVC-1) が 38cm、橋台部 (DVA-1) が 34cm、セメント改良体のある橋台部 (DVB-1) が 18cm と、改良体による沈下抑制効果が確認できた。図-5 の地盤の残留沈下量の応答波形では、入力加速度と同様な正負の応答変位が見られた。これは盛土内に、棒状の計測器具を挿入して地盤沈下量を測っているため、盛土の左右動に合わせて計測器具に曲げ変形が生じたためと考えられる。地盤の残留沈下量は、一般部 (DVC-4) が 5cm、橋台部 (DVA-4) が 6cm、セメント改良体のある橋台部 (DVB-4) が 1cm と、地盤においても改良体による沈下抑制効果が確認できた。図-6 はセメント改良体のない橋台部の加振前後の盛土断面である。測定断面は橋台背面から盛土側に 50cm の位置である。盛土表面に設置したターゲットをレーザー変位計 (LB300) で 3 回計測し、平均値で整理したものである。これより、盛土天端が一様に圧縮沈下するのに加え、のり肩部の崩れるような沈下が顕著であることがわかる。

4. まとめ

普通地盤上に粒度分布の悪い砂質材料で構築した盛土にて、地震時における橋台裏の盛土本体の揺り込み沈下を再現した。これらの変形は、土粒子の間隙を原因とする体積圧縮だけでなく、のり肩が崩れるような変形と合わせたものであるといえる。したがって、実際の盛土に関しては、列車荷重を受けることで盛土天端中央部は締め固まっているため、のり肩部の変形に着目した対策は、今回の結果からも有効であると考え

る。今回、目標とした入力加速度には達していなかったが、セメント改良体による変形抑制効果は概ね確認できたと考えている。

参考文献

- 1) 福島弘文, 岡田勝也, 小笠原令和: 中小地震に対する橋台裏盛土の沈下量の算定式に関する一考察, 土木学会第 41 回年次学術講演会, 1986.11.
- 2) 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説 (土構造物), 2007.1.
- 3) 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説 (耐震設計), 1999.10.

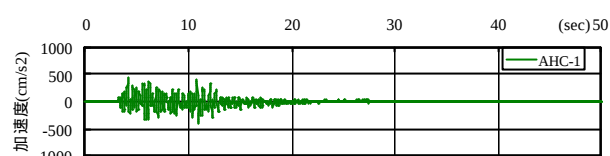


図-2 入力加速度 max=428.9[Gal]

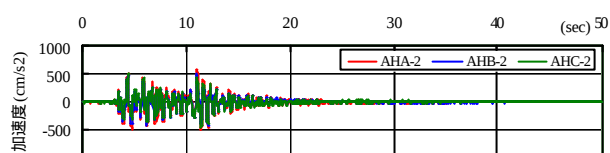


図-3 盛土直下の応答加速度 AHA max=584[Gal],
AHBmax=511[Gal] AHCmax=503[Gal]

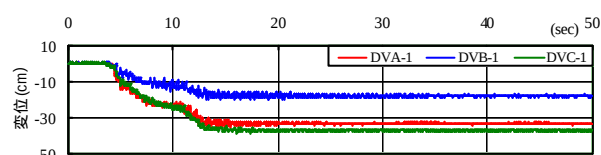


図-4 盛土天端の残留沈下量

DVA-1=34[cm], DVB-1=18[cm], DVC-1=38[cm]

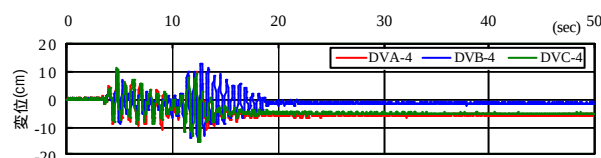


図-5 盛土直下地盤の残留沈下量

DVA-4=6[cm], DVB-4=1[cm], DVC-4=5[cm]

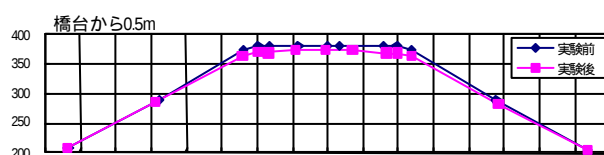


図-6 加振前後の盛土断面